Sol y Eclipses

Actividades y Modelos para explicar los eclipses

Rosa M. Ros
Beatriz García

ISBN 978-950-692-136-1



Network for Astronomy School Education - International Astronomical Union



Autoridades

Presidente de la Nación
Ing. Mauricio Macri
Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación
Dr. Lino Barañao

Presidente del CONICET
Dr. Alejandro Ceccatto
Directorio de CONICET
Vicepresidente de Asuntos Científicos
Dra. Mirtha Flawiá
Vicepresidente de Asuntos Tecnológicos
Dr. Miguel Laborde
Directores
Dra. Dora Barrancos
Dr. Francisco Antonio Tamarit
Dr. Vicente Macagno
Dr. Carlos Jose Van Gelderen
Ing. Tulio Del Bono
Ing. Santiago Sacerdote

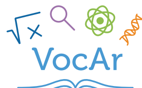
Diseño
Silvina Perez Álvarez

ISBN 978-950-692-136-1

















Prólogo

El Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva "Argentina Innovadora 2020" precisó, entre otros objetivos, la necesidad de realizar esfuerzos orientados a promover, implementar y articular mecanismos para la distribución y apropiación social del conocimiento científico, un modo de jerarquizar la percepción de la ciencia entre los actores sociales, con el objeto de que la Ciencia y la Tecnología sean herramientas para la innovación inclusiva y brindar respuestas a las necesidades de desarrollo social y mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Por estas razones, el CONICET ha decidido impulsar acciones para que investigadores y docentes tengan nuevos instrumentos para mejorar la enseñanza de la ciencia y la tecnología, al tiempo de promover en la juventud vocaciones científicas. Esto permite aportar, además, una modalidad innovadora para entender que los fenómenos astronómicos son parte de la vida cotidiana y que la ciencia puede ser un centro de interés tanto para los adolescentes como para la

Nuestro país será escenario de un acontecimiento astronómico muy interesante. El próximo 26 de febrero la Patagonia será testigo de su primer eclipse anular de Sol en lo que va del siglo XXI. Más adelante, en los años 2019, 2020, 2024, 2027 y 2034 también se registrarán eclipses solares totales o anulares en el país.

Este texto, escrito por la Profesora Dra. Rosa M. Ros y la Dra. Beatriz García, presidenta y vicepresidenta respectivamente de la Red para la Educación de la Astronomía en la Escuela -NASE-, de la Unión Astronómica Internacional, contiene conceptos básicos sobre los eclipses y servirá para una mejor y mayor comprensión de estos fenómenos. Pero además nos permite ir más allá de la astronomía y abordar otros campos como las matemáticas, la física y la geografía, por ejemplo. Sin dudas, un buen esfuerzo para que los temas de la ciencia puedan, en forma progresiva, incorporarse a la agenda cotidiana.

Dr. Alejandro Cecatto
Presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Argentina

Introducción

En esta publicación se presentan algunos modelos para explicar los eclipses y sus tipos. Como concepto previo se introducen las fases de la Luna para poder introducir correctamente los eclipses de Sol y de Luna.

También se utilizan los eclipses para determinar distancias y diámetros en el sistema Tierra-Luna-Sol usando los trabajos de Aristarco y Eratóstenes desarrollaron hace más de 2000 años.

Posiciones relativas

Cuando la posición relativa de la Tierra y la Luna interrumpe el paso de la luz solar hablamos de "eclipse". Un eclipse de Sol sucede cuando el Sol es cubierto por la Luna que se sitúa entre el Sol y nuestro planeta (figura 1a), esto es cuando hay Luna Nueva. Los eclipses de Luna se producen cuando la Luna pasa a través de la sombra de la Tierra (figura 1a). Entonces la Luna solo puede estar en fase de Luna Llena.

La Tierra y la Luna se mueven siguiendo órbitas elípticas que no están en el mismo plano. La órbita de la Luna esta inclinada 5° respecto al plano de la eclíptica (plano de la de la Tierra entorno al Sol). Ambos planos se interceptan en una recta llamada la Línea de los Nodos. Los eclipses tienen lugar cuando la Luna esta próxima a la Línea de los Nodos. Si ambos planos no formaran un ángulo, los eclipses serían mucho más frecuentes (figura 1b).

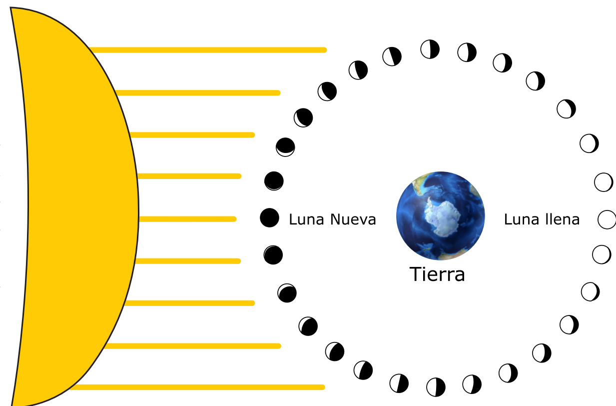


Fig. 1a. Los eclipses de Sol tienen lugar cuando la Luna está situada entre el Sol y la Tierra (Luna nueva). Los eclipses de Luna suceden cuando la Luna cruza el cono de sombra de la Tierra, entonces la Tierra está situada entre el Sol y la Luna (Luna llena).

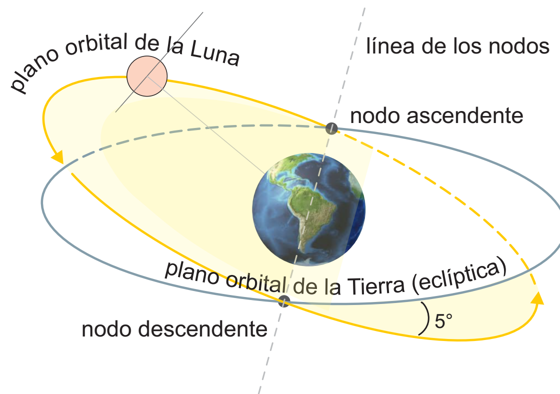


Fig. 1b. Solo cuando la Luna está próxima a la línea de los nodos puede tener lugar un eclipse.

Modelos con máscaras para la Luna

Modelo de la Cara Oculta

La Luna tiene un movimiento de rotación y otro de traslación alrededor de la Tierra que duran aproximadamente lo mismo, esto es unas cuatro semanas. Por este motivo desde la Tierra solo podemos ver aproximadamente la mitad de la superficie lunar. El movimiento de
rotación lunar dura 27 días, 7 horas, 43 minutos y 11.5 segundos; el movimiento de traslación de la Luna en torno a la Tierra dura 29 días, 12 horas, 44 minutos y 3 segundos. Pero estas duraciones son tal como se ven desde las estrellas. La órbita elíptica de la Luna alrededor del Sol nos permite ver un poco alrededor de sus lados con una contribución adicional producida por la inclinación de la órbita de la Luna, que permite ver levemente alrededor … 59 % de la superficie lunar).



Fig. 2a. Modelo de la Cara oculta.

Vamos a visualizarlo con un sencillo modelo. Comenzamos situando un voluntario que hace de Tierra y un voluntario que actúa como la Luna. Le pondremos al voluntario que representa la Luna una máscara blanca redonda recortando un trozo de cartulina. Situamos el voluntario que hace de Luna de cara a la Tierra antes de comenzar a moverse. Hacemos avanzar Luna 90° en su órbita de traslación entorno a la Tierra, pero sin rotación. Preguntamos al voluntario que hace de Tierra si ve la misma cara de la Luna, o sea si lo ve de cara y nos dirá que solo le ve de perfil y ve la oreja centrada en medio de la cabeza.

Pero cuando la Luna gira también los mismos 90° en rotación sobre sí misma, entonces la Tierra le vera la misma cara de siempre y ha transcurrido solo una semana. Repetimos el proceso de nuevo. Se traslada de nuevo la Luna 90° sin rotación y sucede igual que antes, la Tierra no la ve de cara, pero cuando gira de nuevo otros 90° en rotación ya le ve de nuevo la cara con su máscara y ha transcurrido la segunda semana. Y así sucesivamente hasta dar una vuelta completa (figura 2a) que corresponde a las cuatro semanas. Está claro que la Luna siempre muestras la misma cara después de cuatro semanas y la parte de atrás de la cabeza del voluntario lunar no se ve nunca.

Modelo de las fases

Para explicar las fases de la Luna usaremos un modelo con una potente linterna que servirá de Sol y cinco voluntarios. Uno de ellos estará situado en el centro representado la Tierra y los otros cuatro se situarán alrededor del mismo a igual distancia formando una cruz con la Tierra en medio (figura 2b). Para que sean más evidentes las fases le pondremos a cada voluntario lunas una máscara siempre de cara a la Tierra, pues ya sabemos que siempre la Luna da la misma cara hacia nuestro planeta.



Fig. 2b. Modelo de la Tierra y la Luna con voluntarios (para explicar las fases y la cara visible de la Luna).

Colocaremos la linterna encendida detrás de uno de los voluntarios que simula la Luna (algo por encima para que no tape la luz) y comenzaremos por visualizar las fases, haciendo hincapié que siempre se considera la observación realizada desde el punto de vista de la Tierra (que está en el centro). Es muy fácil descubrir que a veces se ve la máscara completamente iluminada, a veces sólo un cuarto, (el derecho o el izquierdo) y otras veces no se ve nada iluminada porque deslumbra la luz de la linterna (es decir, del Sol).

Modelo Tierra-Luna

Comprender de forma clara las fases de la Luna y la geometría que encierra el fenómeno de los eclipses de Sol y de Luna no es sencillo. Para ello, se propone un modelo muy simple que ayuda a entender ambos eclipses. Clavamos dos clavos (de unos 3 ó 4 cm) a un listón de madera de 125 cm. Los clavos estarán separados 120 cm y en cada uno fijaremos dos bolas de 4 y 1 cm (figura 3).

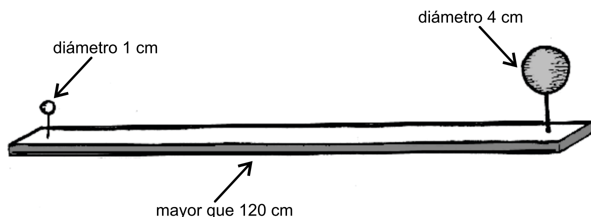


Fig. 3. Modelo con la Tierra y la Luna.

Es importante respetar estas medidas porque son las que corresponden a un modelo a escala del sistema Tierra-Luna respetando las proporciones de distancias y diámetros (tabla 1).

Diámetro Tierra	12800 Km.	→	4 cm.
Diámetro Luna	3500 Km.	→	1 cm.
Distancia Tierra-Luna	384000 Km.	→	120 cm.
Diámetro Sol	1400000 Km.	→	440 cm. = 4.4 m.
Distancia Tierra-Sol	150000000 Km.	→	4700 cm. = 0.47 Km.

Tabla 1. Distancias y diámetros del sistema Tierra-Luna-Sol.

Reproducción de las fases de la Luna

En un lugar soleado, cuando sea visible la Luna, se apunta con el listón dirigiendo la pelotita de la Luna hacía ésta (figura 4). El observador debe situarse detrás de la bola de la Tierra. La esfera de la Luna se ve del mismo tamaño aparente que la Luna y con la misma fase que la real. Variando la orientación del listón se consiguen reproducir las diferentes fases de la Luna al variar la iluminación que recibe del Sol. Hay que mover la Luna para conseguir la secuencia de todas las fases.

Esta actividad es mejor llevarla a cabo en el patio, pero si está nublado también se puede hacer con una linterna.



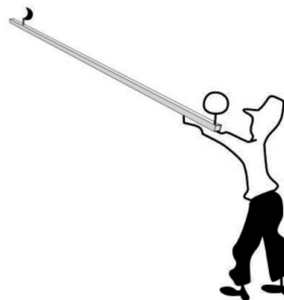


Fig. 4. Usando el modelo en el patio de la escuela.

Reproducción de los eclipses de Luna

Se sujeta el listón de manera que la pelotita de la Tierra esté dirigida hacia el Sol (es mejor usar un retroproyector para evitar mirar al Sol) y se hace entrar la Luna (figura 5a y 5b) dentro eclipse de Luna. Esta es una manera fácil de reproducir un eclipse lunar. En la figura 6 se observa la Luna cruzando el cono de sombra proyectado por la Tierra, en un eclipse de Luna real.

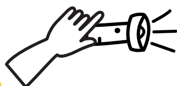






Fig. 5a y 5b. Simulación de eclipse lunar.



Fig. 6. Composición fotográfica de un eclipse de Luna. Nuestro satélite cruzando el cono de sombra producido por la Tierra. Crédito de la imagen y copyright: Chander Devgun (SPACE).

Reproducción de los eclipses de Sol

Se toma el listón de forma que la Luna esté dirigida hacia el Sol (si está nublado podemos hacerlo con una linterna, pero es siempre mejor el sol real). Se hace que la sombra de la Luna se proyecte sobre la esfera terrestre. De esta forma se consigue visualizar un eclipse de Sol. Se puede ver que la sombra de la Luna da lugar a una pequeña mancha sobre una región de la Tierra (figuras 7a, 7b y 8). En la figura 9 se muestra la imagen de un eclipse de Sol desde el espacio, tomada desde la Estación Espacial Internacional ISS.



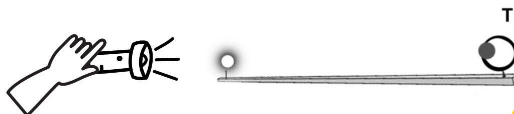


Fig. 7a y 7b. Simulación eclipse solar.

No es fácil conseguir esta situación porque la inclinación del listón debe ser muy ajustada (esta es la causa de que haya menos eclipses de Sol que de Luna).



Fig. 8. Detalle de la figura previa 5a.



Fig. 9. Fotografía tomada desde la MIR del eclipse solar (11 de agosto de 1999) sobre una región de la superficie de la Tierra. Crédito fotografía: MIR.



Fig. 10. Simulando ambos eclipses.

Observaciones

- Sólo puede tener lugar un eclipse de Luna cuando es Luna llena y un eclipse de Sol cuando hay Luna nueva (figura 1a).
- Un eclipse solar sólo se ve en una zona reducida de la Tierra (figura 8).
- Es muy difícil que la Tierra y la Luna estén "bien alineadas" para que se produzca un eclipse, así que no se da un eclipse cada vez que sea Luna nueva o Luna llena (figura 1b).

Modelo Sol-Luna

Con el fin de visualizar el sistema Sol-Tierra-Luna haciendo especial hincapié en las grandes distancias al Sol, vamos a considerar un nuevo modelo, teniendo en cuenta el punto de vista terrestre del Sol y de la Luna. En este caso vamos a invitar a los estudiantes a dibujar y a pintar un gran Sol de diámetro 220 cm (más de 2 metros de diámetro) en una sábana (figura 11) y vamos a demostrar que pueden cubrir este gran Sol con una pequeña Luna de 0,6 cm de diámetro (menos de 1 cm de diámetro).

Es importante la utilización de las dimensiones mencionadas anteriormente para mantener las proporciones de los diámetros y las distancias (tabla 2). En este modelo, el Sol se sitúa a 235 metros de la Luna y el observador estará a 60 cm desde la Luna. Resulta sorprendente al comenzar a manejar el modelo que se pueda cubrir el gran Sol con esta pequeña Luna (figura 12). Realmente esta relación de un Sol 400 veces mayor que la Luna no es fácil de imaginar. Es bueno por lo tanto para mostrarlo con un ejemplo para entender la magnitud de la distancia del sistema Tierra y Luna al Sol.

Diametro Tierra	12 800 km	2.1 cm
Diámetro Luna	3 500 km	0.6 cm
Distancia Tierra-Luna	384 000 km	60 cm
Diámetro Sol	1400 000 km	220 cm
Distancia Tierra-Sol	150 000 000 km	235 m

Tabla 2. Distancias y diámetros del sistema Tierra-Luna-Sol.



Fig. 11. Modelo de Sol.



Fig. 12. Mirando el Sol y la Luna en el modelo de eclipse.

Zonas de umbra y penumbra y tipos de eclipses

Aunque en los modelos presentados previamente no se perciben con detalle, en todo eclipse existe una zona de umbra y otra de penumbra (figuras 13 y 14). Umbra significa oscuridad total, mientras que la penumbra es la sombra parcial que hay entre los espacios enteramente oscuros y los enteramente iluminados que se genera durante los eclipses.

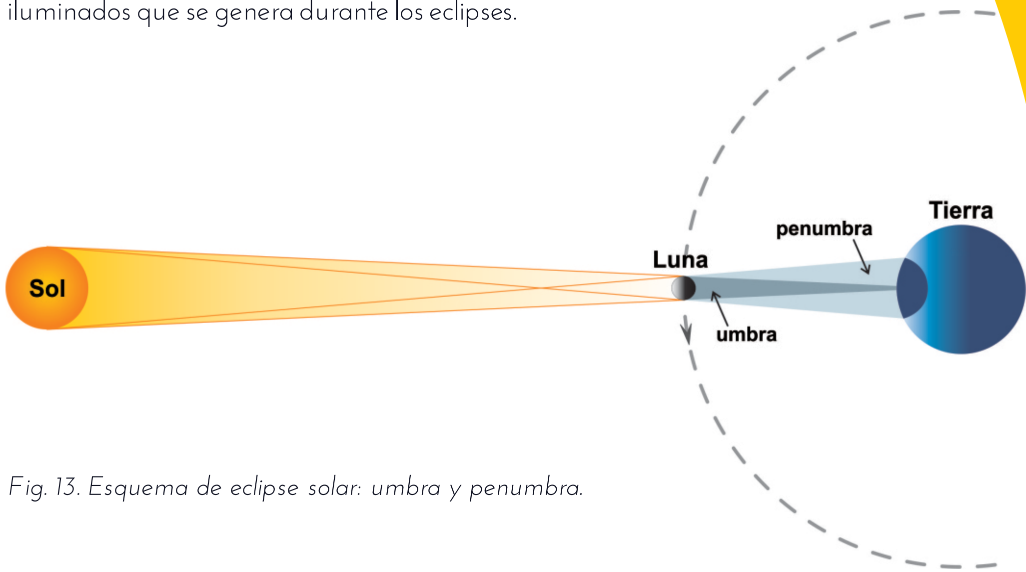


Fig. 13. Esquema de eclipse solar: umbra y penumbra.

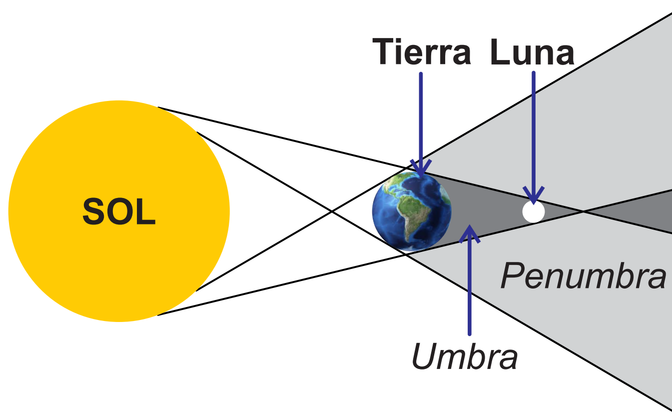


Fig. 14. Esquema de eclipse lunar: umbra y penumbra.

Como consecuencia de las zonas de un eclipse se pueden clasificar los diferentes tipos de eclipses.

Existen tres tipos de eclipse solar (figura 15):

- Parcial: la Luna no cubre por completo el disco solar.
- Total: desde una franja (banda de totalidad) en la superficie de la Tierra, la Luna cubre totalmente el Sol. Fuera de la banda de totalidad el eclipse es parcial. Se verá un eclipse total para los observadores situados en la Tierra que se encuentren dentro del cono de sombra lunar, cuyo diámetro máximo sobre la superficie de nuestro planeta no superará los 270 km. La duración de la fase de totalidad puede durar varios minutos, entre 2 y 7,5, y alcanza algo más de las dos horas todo el fenómeno, en los eclipses anulares la máxima duración alcanza los 12 minutos y llega a más de cuatro horas en los parciales.
- Anular: ocurre cuando la Luna se encuentra cerca del apogeo (el punto más alejado de la Tierra) y su diámetro angular es menor que el solar, de manera que en la fase máxima permanece visible un anillo del disco del Sol. Fuera de ella el eclipse es parcial.

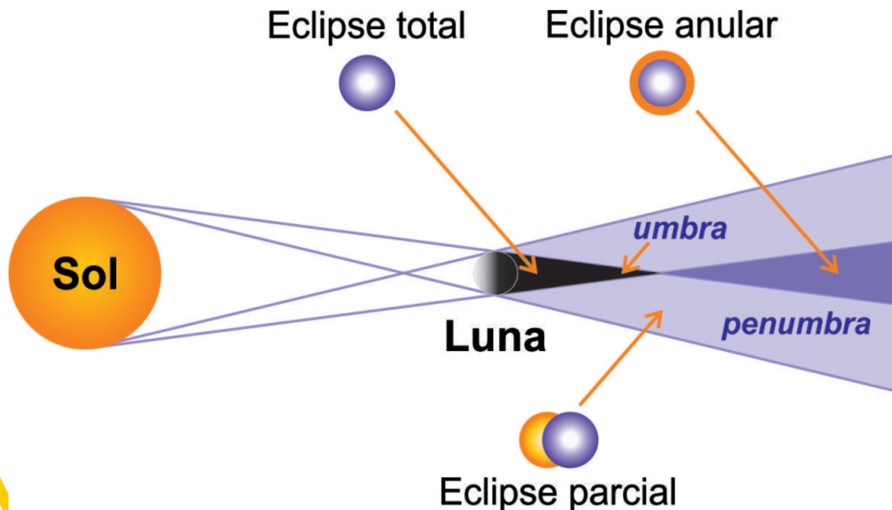


Fig. 15. Tipos de eclipses solares.

Existen dos tipos de eclipse lunar (figura 16):

- Parcial: La sombra del cono terrestre no cubre por completo el disco lunar.
- Total: La sombra del cono terrestre cubre por completo el disco de la Luna. La duración de la fase de totalidad puede ser de 1,5 a 3,5 horas.

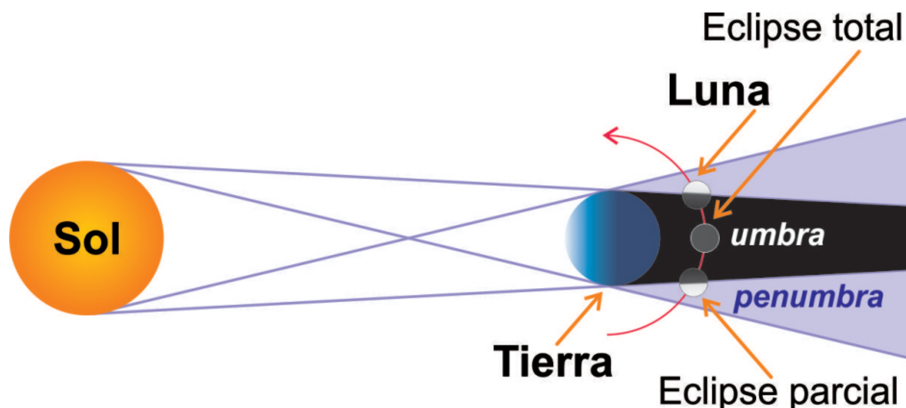


Fig. 16. Tipos de eclipses lunares.

Eclipses de Sol para las próximas décadas

Los eclipses solares, como se ha mencionado antes, son difíciles de observar y por ese motivo incluimos la distribución de ellos a lo largo de algunas décadas (figuras 17 y 18).

Además de los eclipses totales y anulares hay otro tipo de eclipse que es realmente muy escaso: los eclipses híbridos. Este fenómeno es muy especial y corresponde a una combinación de eclipse total y anular. Desde algunas regiones de la Tierra este tipo de eclipse adopta la apariencia de un eclipse anular, mientras que en otras aparecerá como uno total.

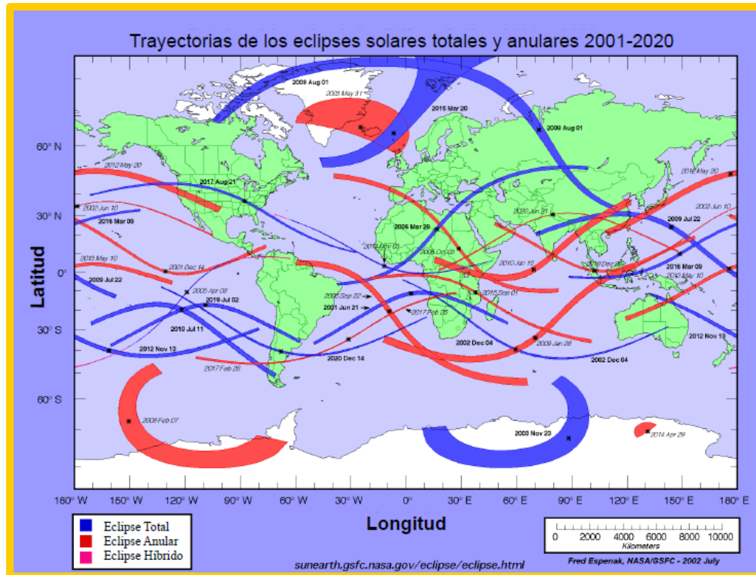


Fig. 17. Trayectorias de los eclipses solares totales y anulares desde 2001 a 2020.

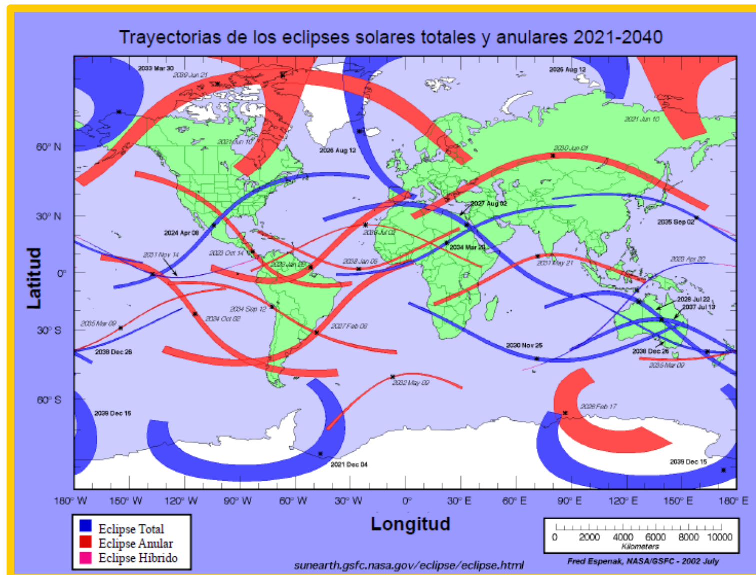


Fig. 18. Trayectorias de los eclipses solares totales y anulares desde 2021 a 2040.

Diámetros y Distancias en el sistema Tierra-Luna-Sol

Aristarco (310-230 a.C) dedujo algunas proporciones entre las distancias y los radios del sistema Tierra-Luna-Sol. Calculó el radio del Sol y de la Luna, la distancia desde la Tierra al Sol y la distancia de la Tierra a la Luna en relación al radio de la Tierra. Algunos años después Eratóstenes (280-192 a.C) determinó el radio de nuestro planeta y fue posible calcular todas las distancias y radios del sistema Tierra-Luna-Sol. Seguidamente vamos a proceder a repetir el proceso matemático diseñado por Aristarco y Eratóstenes a la vez que, en la medida de lo posible, repetir las observaciones que ambos llevaron a cabo.

Es necesario mencionar que los trabajos de ambos científicos han sido descritos usando el lenguaje matemático actual para que el lector pueda seguirlo de forma sencilla.

El experimento de Aristarco de Nuevo

Aristarco en su momento realizó diversas observaciones en distintas situaciones con instrumentos sencillo y pocos medios. Se propone realizarlo de nuevo las observaciones y los cálculos con un grupo de estudiantes. Aristarco siguió varios pasos para establecer las relaciones entre distancias y diámetros, seguiremos sus pasos:

- Distancias Tierra-Luna y Tierra-Sol.
- Radio Luna y Radio Sol.
- Distancia Tierra-Luna y Radio Luna ó Distancia Tierra-Sol y Radio Sol.
- Cono de Sombra Terrestre y Radio Luna.
- Relacionar todo y dejaremos todos los valores indicado en relación al radio de la Tierra que después usando el método de Eratóstenes se calculará.

<u>Relación entre las distancias de la Tierra a la Luna y de la Tierra al Sol</u>

Aristarco determinó que el ángulo bajo el que se observa desde la Tierra la distancia Sol-Luna cuando ésta en el instante del cuarto era de $\alpha = 87°$. En la actualidad, se sabe que cometió un error, posiblemente debido a que le resultó muy difícil determinar el preciso instante del cuarto de fase y porque el ángulo a medir realmente es muy próximo al ángulo recto. De hecho $\alpha = 89° \; 51'$, pero el proceso usado por Aristarco es perfectamente correcto. En la figura 19, si se usa la definición de coseno, se puede deducir que,

$$\cos \alpha = \frac{TL}{TS}$$

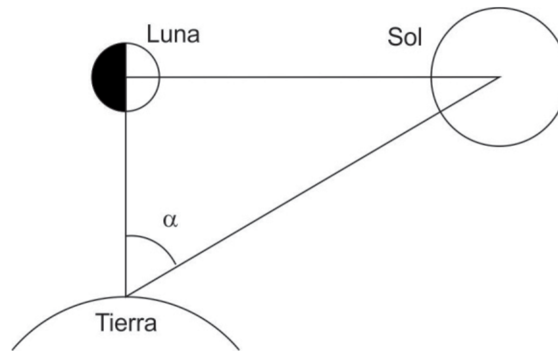


Fig. 19. Posición relativa de la Luna en el cuarto..

donde TS es la distancia desde la Tierra al Sol, y TL es la distancia de la Tierra a la Luna. Entonces aproximadamente,

$$TS = 400\ TL$$

(aunque Aristarco dedujo TS = 19 TL). Cuando se realiza con alumnos y un sencillo goniómetro horizontal, los resultados son todavía peores que los de Aristarco, ya que el ángulo a medir en comparación con el ángulo recto es de unos pocos minutos de arco.

Relación entre el radio de la Luna y radio del Sol

La relación entre el diámetro de la Luna y del Sol debe ser similar a la fórmula previamente obtenida, porque desde la Tierra se observan ambos diámetros iguales a 0.5°. Por lo tanto ambos radios deben verificar.

$$R_S = 400\ R_L$$

Relación entre la distancia de la Tierra a la Luna y el radio lunar o Relación entre la distancia de la Tierra al Sol y el radio solar

Aristarco supone la órbita de la Luna circular en torno a la Tierra. Dado que el diámetro observado de la Luna es de 0.5°, con 720 veces este diámetro es posible recubrir la trayectoria circular de la Luna en torno a la Tierra. La longitud de este recorrido es 2π veces la distancia Tierra-Luna, es decir $2R_L\ \ 720 = 2\pi\ TL$, despejando,

$$TL = \frac{720R_L}{\pi}$$

Usando un razonamiento similar, ya que el diámetro del Sol se ve bajo un ángulo de medio grado desde la Tierra, la distancia de la Tierra al Sol se puede relacionar con el radio del Sol.

$$TS = \frac{720R_S}{\pi}$$

Relación es entre las distancias a la Tierra del Sol y la Luna, el radio lunar, el radio solar y el radio terrestre

Durante un eclipse de Luna, Aristarco observó que el tiempo necesario para que la Luna cruzara el cono de sombra terrestre era el doble del tiempo necesario para que la superficie de la Luna fuera cubierta (figuras 20a y 20b). Por lo tanto, dedujo que la sombra del diámetro de la Tierra era doble que el diámetro de la Luna, esto es, la relación de ambos diámetros o radios era de 2:1. Realmente se sabe que este valor es de 2.6:1. En la actualidad con los relojes digitales los estudiantes obtienen unos resultados excelente, mucho mejores que Aristarco que no disponía de este tipo de ventaja.

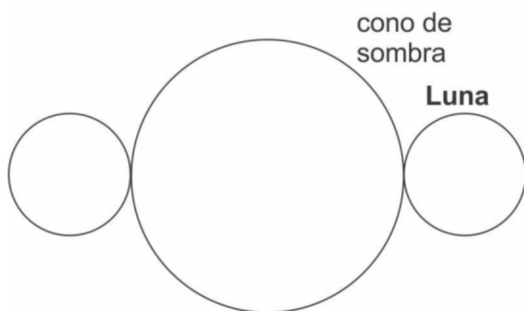


Fig. 20a. Midiendo el cono de sombra.

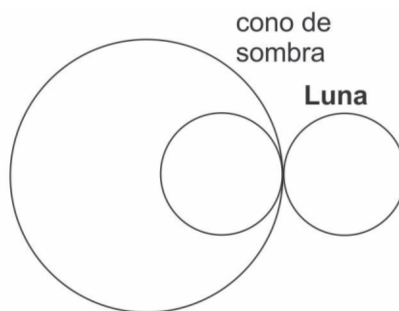


Fig. 20b. Midiendo el diámetro de la Luna.

Formulación final

Con este resultado se puede establecer el dibujo de la figura 21 y formular la siguiente proporción, tomando x como una variable auxiliar que después se eliminará.

$$\frac{x}{2.6R_L} = \frac{x + TL}{R_T} = \frac{x + TL + TS}{R_S}$$

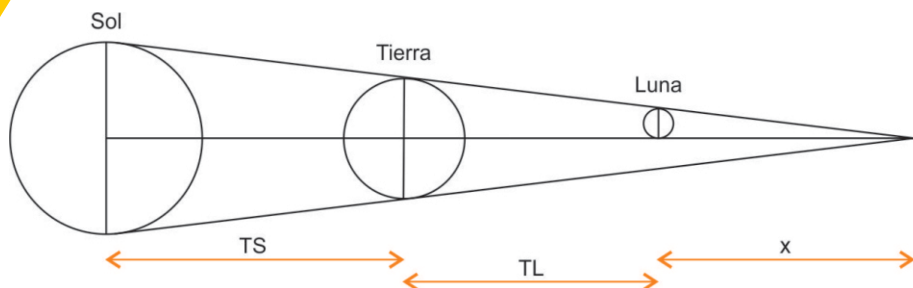


Fig. 21. Cono de sombra y posiciones relativas del sistema Tierra-Luna-Sol.

Introduciendo en esta expresión las relaciones TS = 400 TL y R_S = 400 R_L, se puede eliminar x y simplificando se obtiene,

$$R_L = \frac{401}{1440} R_T$$

que permite expresar todas las dimensiones mencionadas con anterioridad en función del radio de la Tierra, así

$$R_S = \frac{2005}{18} R_T \qquad TS = \frac{80200}{\pi} R_T \qquad TL = \frac{401}{2\pi} R_T$$

Donde sólo hay que sustituir el radio de nuestro planeta para obtener todas las distancias y radios del sistema Tierra-Luna-Sol.

Después de estos estudios se deduce que el Sol es mucho mayor que la Tierra y la Luna, y resulta difícilmente justificable pensar que un objeto grande gire respecto a uno mucho menor. De hecho conocemos por autores posteriores que Aristarco manejaba un modelo heliocéntrico con el Sol en el centro y la Tierra girando alrededor en una órbita circular.

Usando el valor actualmente establecido para el radio terrestre R_T= 6378 km, este valor de partida podemos deducir todos los demás diámetros y distancias siguiendo a Aristarco:
R_L = 1776 km (real 1738 km), TL = 408 000 km (real 384 000 km), Rs = 740 000 km (real 696 000 km) y TS = 162 800 000 km (real 149 680 000 km). Todos ellos del mismo orden de magnitud que los valores reales.

El experimento de Eratóstenes, de nuevo

Eratóstenes era el director de la Biblioteca de Alejandría, y en uno de los textos de la misma leyó que en la ciudad de Syena (actualmente Asuan) el día del solsticio de verano, en el medio día solar, el Sol se veía reflejado en el fondo de un pozo, o lo que es lo mismo, los palos clavados perpendicularmente en la Tierra, no producían sombra. Observó que ese mismo día a la misma hora un palo producía sombra en Alejandría. De ello dedujo que la superficie de la Tierra no podría ser plana, sino que debería ser una esfera (figura 22a y 22b).

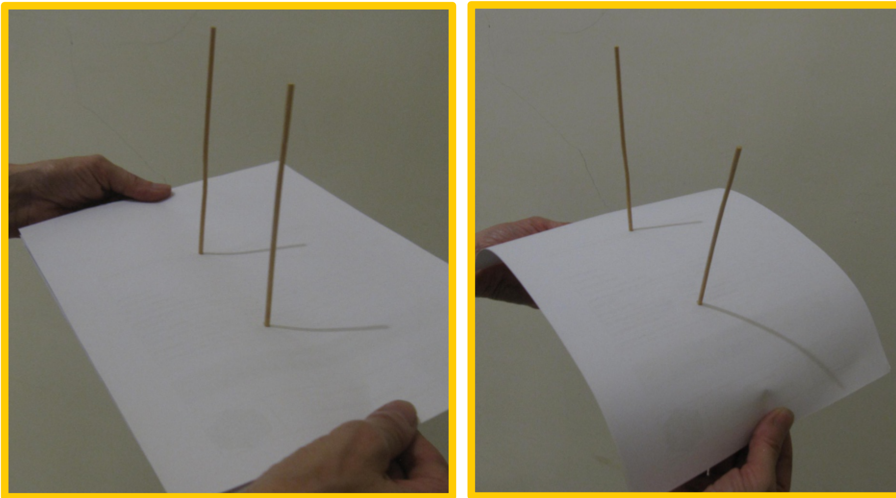


Fig. 22a y 22b. En una superficie plana las dos estacas producen la misma sombra (izquierda), pero si la superficie es curvada no (derecha).

Consideremos dos estacas clavadas perpendicularmente en el suelo (apuntando hacia el centro de la Tierra), en dos ciudades de la superficie terrestre sobre el mismo meridiano (figura 23). Suponemos que los rayos solares son paralelos (pues el Sol está muy lejos de la Tierra). Los rayos producen dos sombras, una para cada estaca. Es suficiente medir en el mismo instante la longitud de la sombra de cada estaca y dividirla por su longitud para obtener el ángulo que forman los rayos del Sol con cada estaca (ángulos α y β respectivamente en la figura 23) usando al definición de tangente.

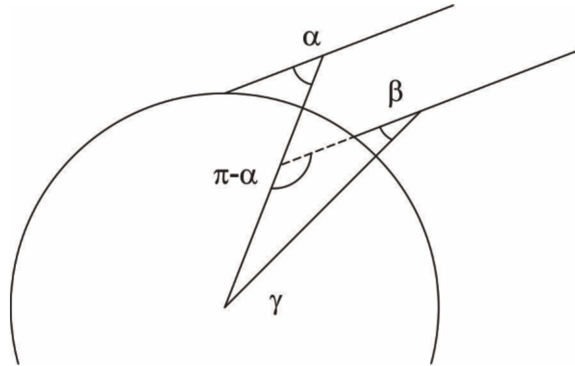


Fig. 23. Situación de plomadas y ángulos en el experimento de Eratóstenes.

El ángulo central γ puede calcularse imponiendo que la suma de los ángulos del triángulo de vértice el centro de la Tierra (figura 23) es igual a π radianes. Entonces $\pi = \pi - \alpha + \beta + \gamma$ y simplificando

$$\gamma = \alpha - \beta$$

donde α y β se han obtenido a partir de medir la estaca y su sombra.

Finalmente estableciendo una proporcionalidad entre el ángulo γ, la longitud de su arco d (determinado por la distancia sobre el meridiano entre las dos ciudades), y 2π radianes del círculo meridiano y su longitud $2\pi R_T$, es decir,

$$\frac{2\pi R_T}{2\pi} = \frac{d}{\gamma}$$

entonces se deduce que:

$$R_T = \frac{d}{\gamma}$$

donde γ se ha obtenido a partir de la observación, en radianes, y d es la distancia en km entre ambas ciudades. Se puede hallar d a partir de un buen mapa. Si no se puede hacer la experiencia con una ciudad sobre el mismo meridiano, es bueno intentar hacerlo con una ciudad que esté lo más próxima posible al meridiano.

En el caso de Eratóstenes el ángulo β era nulo y sencillamente $\gamma = \alpha$ y como la distancia desde Alejandría a Syena era conocida como ruta de caravanas, pudo deducir el radio de la Tierra dando un resultado muy próximo al correcto.

Como ejemplo, veamos los resultados obtenidos por un grupo de alumnos de secundaria de Barcelona y de Ripoll (España). Ambas ciudades están en el mismo meridiano aunque no muy alejadas. Es mejor trabajar con mayores distancias para ganar precisión, pero los resultados obtenidos, en este caso, no son malos. Los ángulos obtenidos en las dos ciudades fueron α= 0.5194 radianes, β = 0.5059 radianes y la diferencia γ = 0.0135 radianes. Sabiendo que la distancia, en línea recta, sobre el mapa entre las dos ciudades era d = 89.4 km se dedujo R_T = 6600 km (cuando el valor real es 6378 km).

El objetivo de estas dos actividades no es la precisión de los resultados sino que los estudiantes tengan un ejemplo que muestre los resultados que son capaces de obtener usando los conocimientos que han acumulado a lo largo de su formación y un poco de ingenio.

Proyecto Eratóstenes internacional

Como se ha mencionado, bastan dos observadores para poder medir el radio terrestre, pero cualquier escuela se puede sumar a proyectos que se organizan al respecto. Hay que destacar que desde hace más de 10 años la Universidad de Buenos Aires, Argentina, en colaboración con la Biblioteca de Alejandría, la European Association for Astronomy Education, EAAE, y diversas instituciones de más de 20 países, desarrolla el "Proyecto Eratóstenes Global" que involucra más de 100 escuelas. En este caso el desarrollo matemático es mucho más complejo y no responde a los contenidos matemáticos de secundaria, pero sin duda es muy interesante enviar los datos conseguidos a este proyecto por los contactos que se pueden establecer con otros estudiantes de otros países.

Para más detalles (la información está en castellano, inglés y portugués): *http://df.uba.ar/es/actividades-y-servicios/difusion/proyecto-eratostenes/eratostenes-2016*

Bibliografía

- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., "Experimentos de Astronomía. 27 pasos hacia el Universo", Editorial Alambra, Madrid, 1988.
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., "Experimentos de Astronomía", Editorial Alambra, México, 1997.
- Fucili, L., García, B., Casali, G., "A scale model to study solar eclipses", Proceedings of 3rd EAAE Summer School, 107, 109, Barcelona, 1999
- Reddy, M. P. M., Affholder, M, "Descriptive physical oceanography: State of the Art", Taylor and Francis, 249, 2001.
- Ros, R.M., "Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities", Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 135, 149, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Sistema Tierra-Luna-Sol: Fases y Eclipses, "14 pasos hacia el Universo", Rosa M. Ros & Beatriz García ed., NASE – IAU, Ed. Antares, Barcelona, 2012.

NOTA: recomendamos el hermoso cuento del escritor guatemalteco Augusto Monterroso "El Eclipse". Este relato breve puede ser utilizado en las clases para cerrar el tema o para trabajarlo en espacios de Lengua, Historia y Geografía.

Se puede descargar libremente de:
https://www.educ.ar/sitios/educar/recursos/ver?id=90472





Ros, Rosa Maria
Sol y eclipses: actividades y modelos para explicar los eclipses / Rosa Maria Ros; Beatriz García - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas , 2016.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-692-136-1

1. Eclipse. 2. Eclipses Solares. I. Garcia, Beatriz II. Título
CDD 523.78

